



TITLE:

量子マイクロ構造における電子伝導(第37回物性若手夏の学校(1992年度),講義ノート)

AUTHOR(S):

榊, 裕之; 伊東, 乾

---

CITATION:

榊, 裕之 ...[et al]. 量子マイクロ構造における電子伝導(第37回物性若手夏の学校(1992年度),講義ノート). 物性研究 1993, 60(5): 444-445

ISSUE DATE:

1993-08-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/95162>

RIGHT:

属や貴金属のクラスターの質量スペクトルからその価電子系の構造についての非常に興味深い事実が明かとなった。すなわち、殻構造と呼ばれているもので、1原子内の電子や、原子核中の陽子・中性子等と同様、小数フェルミ粒子系に特徴的なものである。例えばナトリウムクラスター $Na_N$ の質量スペクトルでは $N=8, 20, 40$ などをマジックナンバーに持つ。この殻構造は、クラスター中の原子核の配置にはあまり敏感には依存しないものと考えられている。原子核中の核子との殻構造を通しての類似性は、その後、励起スペクトルでも見つかっている。すなわち、原子核の巨大双極子共鳴に相当する励起がナトリウムクラスターなどでも観測されている。これは、一種の集団励起であり、その理論的研究は、局所密度近似に時間依存性を入れて行われている。

### 3 半導体 クラスタ及びフラーレン

炭素などのIV族元素の(半導体)クラスターでは、方向性の強い共有結合が原子間の凝集の起源と考えられるので、金属クラスターの場合とは異なり、原子核の配置に強く依存した電子構造を持つものと推測される。また、その凝集力を原子間のポテンシャルに焼き直した場合、希ガスクラスターに用いたような2体の中心力ではなく、3体力以上の複雑な項が効いてくるものと予想される。この様な事情から、半導体クラスターの一般論の構築は遅れており、クラスター科学の中でも難しい分野の一つである。ただ、IV族の中でも、炭素クラスター $C_N$ に関しては、 $N > 30$ では籠状のフラーレン構造を取ることが明かとなりつつあり、その理解が急速に進みつつある。

炭素クラスターは、 $N$ が10程度までは直線状に炭素原子が連なった形を取るものと考えられている。そして、 $N$ が10程度からその両端がつながって円環状になるものと考えられている。 $N$ がそれ以上では、フラーレンが安定となるものとされている。ただ、これらの構造の移り変わりははっきりとした臨界サイズがあるわけではなく、2種の形がビーム中で共存しているものもあるものと考えられる。

炭素クラスターがこの様に種々の構造を取り得るのは、C原子が $sp, sp^2, sp^3$ 混成と様々な電子状態を取ることができるからであろう。 $C_{60}$ の電子状態は定性的には、球面上の電子の電子状態と類似している。 $C_{60}$ 固体となってもクラスターとしての軌道準位の性格はかなり保たれている。 $t_{1u}, t_{1g}$ 由来のバンドの間にギャップが開き半導体となっている。最近では、金属を取り込んだフラーレン(メタロフラーレン)が実験で観測されている。幾何学的及び局所密度汎関数法に基づく理論計算から $C_{60}$ に小さなクラスターが金属を取り込みつつかぶさり、だるま型のメタロフラーレンが生成するモデルを提唱した。このモデルは、幾何学形状及びエネルギー的に $C_{60}$ 1分子あたりに取り込まれる金属原子数の上限を予測するが、これは、実験事実とコンシステントである。

本稿は、斎藤先生の「物性若手夏の学校 テキスト」原稿を要約加筆したものであることをお断りしておく。

(文責 山内 淳)

## 量子マイクロ構造における電子伝導

東大先端研 榊 裕之

最近10年来のICの集積化技術の進展は著しい。その結果発展したサブミクロン加工技術により、量子力学的効果が直接顔を出す様な極めて小さな半導体の構造を作成し、そこでの電子の振る舞いが精力的に調べられてきた。今回の講義ではそれら諸研究が概観された。

### 1 閉込めと電子状態の次元性

ダブルヘテロ型量子井戸構造と単一ヘテロ型電界閉込めについて説明があり、いわゆる低次元電子系の成立条件が示された。また広い量子井戸での次元性のクロスオーバーが論じられシュブニコフ振

動の井戸幅依存性はランダウ軌道の直径と井戸幅の大小関係で決まる事が示された。

## 2 2次元電子の散乱と移動度

GaAs/n-AlGaAs ヘテロ接合を中心に、不純物散乱、フォノンによる散乱、界面凹凸による散乱、及び電子電子散乱各々の移動度への影響が論じられた。

## 3 2次元電子の古典的弾道運動と制御

磁気フォーカシングによる曲がり抵抗や静電レンズ等いわゆるバリスティック伝導すなわち電子波の古典的波動としての振る舞いが論じられた。

## 4 2重および3重障壁における共鳴トンネル伝導

多重反射と透過率のエネルギー依存性、電流電圧特性、状態寿命  $T$  の直接測定、キャリアの蓄積効果とその測定、さらに量子井戸を並列した系としてその間の電子移動と弾性、非弾性散乱が論じられた。

## 5 層状超格子におけるミニバンド構造と伝導

シュブニコフ振動の異方性によるフェルミ面の決定について論じられ、また負の質量や負性抵抗の予測並びに問題点が示された。

## 6 量子細線における電子伝導

細線の構造と、ランダウアーによる散乱的な扱い(ランダウアー公式)が説明されモード内の後方散乱、モード間散乱、不純物やフォノンによる散乱とその制御、が論じられた。また量子ポイントコンタクトでの弾道伝導、コンダクタンスの量子化、多モード伝導と普遍的コンダクタンス揺らぎなどの問題も扱われた。

## 7 表面超格子での電子伝導

結合量子箱、結合量子細線と言われる表面超格子の状態密度、ゲート作用、高移動度などの特徴が示され、そこで起こるだろうブロッホ振動のシミュレーション、振動的な磁気抵抗の振る舞い(Weiss振動)などに触れた。

そのほか、シュブニコフ・ドハース効果や整数および分数量子ホール効果、アハロノフ・ボーム効果、さらにクーロンブロッケイドと一電子遷移などの問題に軽く触れられ将来の発展の可能性が概観された。

(文責 伊東 乾)

## 量子スピン系の秩序と相転移

東工大理 西森秀稔

7/28 と 29 の 2 日間にわたって修士の院生を対象にして、量子効果がスピン系にどのような影響を及ぼすかについて説明していただいた。

### 1 長距離秩序(古典系)

格子に並んだスピンの向きが遠くまでほとんど同じ方向を向いているとき、長距離秩序があるという。この長距離秩序の存在を決定するパラメータに温度や空間の次元などがある。空間の次元を下げるとうる臨界次元  $d_c$  以下で有限温度で相転移がなくなる。この  $d_c$  を下部臨界次元という。Ising モデルについては、 $d_c = 1$  であり、ハイゼンベルグ模型では  $d_c = 2$  となる。